

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5093599号  
(P5093599)

(45) 発行日 平成24年12月12日(2012.12.12)

(24) 登録日 平成24年9月28日(2012.9.28)

(51) Int.Cl.

G01N 11/14 (2006.01)

F 1

G01N 11/14

C

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2008-116359 (P2008-116359)  
 (22) 出願日 平成20年4月25日 (2008.4.25)  
 (65) 公開番号 特開2009-264982 (P2009-264982A)  
 (43) 公開日 平成21年11月12日 (2009.11.12)  
 審査請求日 平成23年2月7日 (2011.2.7)

(73) 特許権者 504137912  
 国立大学法人 東京大学  
 東京都文京区本郷七丁目3番1号  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100146835  
 弁理士 佐伯 義文  
 (74) 代理人 100108453  
 弁理士 村山 靖彦  
 (74) 代理人 100140774  
 弁理士 大浪 一徳  
 (74) 代理人 100147267  
 弁理士 大槻 真紀子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】粘性・弾性測定装置及びその方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

導電性の回転子と、  
 粘性を検出する対象の検出対象物質が入れられ、該検出対象物質内に前記回転子が配置された容器と、  
 該容器の周りに配置され、前記回転子に対して磁場を印加する磁石と、

該磁石を駆動して前記回転子に回転磁界を与え、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる回転制御部と、

前記回転子の回転数を検出する回転検出部と、  
 前記回転数により、前記回転子に接する検出対象物質の粘性・弾性を検出する粘性検出部と

を有し、

前記回転子の回転軸に垂直な方向における半径が以下の式により決定されることを特徴とする粘性・弾性測定装置。

## 【数1】

$$R < \frac{3 \omega \eta \beta}{2 \alpha \Delta \rho \mu g}$$

$R$  : 回転子の半径       $g$  : 重力加速度

$\omega$  : 角速度       $\alpha, \beta$  : 係数

$\eta$  : 粘性係数

$\Delta \rho$  : 回転子と検出対象物質の密度差

$\mu$  : 回転子下部と容器底部の摩擦係数

10

## 【請求項2】

前記回転子が球であることを特徴とする請求項1に記載の粘性・弾性測定装置。

## 【請求項3】

前記回転子にマークが付加されており、

前記回転検出部が前記マークの回転を検出することにより、回転子の回転数を検出することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の粘性・弾性測定装置。

## 【請求項4】

粘性が分かっている複数の物質の回転トルクと、回転数との関係を予め測定した標準データを記憶する記憶部を更に有し、

前記粘性検出部が測定した検出対象物質の回転トルクと回転数との関係と、前記標準データとを比較することにより、前記検出対象物質の粘性・弾性を検出することを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。

20

## 【請求項5】

前記回転子が、前記検出対象物質内に、一部分あるいは全部が没していることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。

## 【請求項6】

前記容器が、前記回転子と接する底部が滑らかな平面、あるいは滑らかな凹面状の曲面であり、

前記回転子の底部が滑らかな凸面状の曲面である

ことを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。

30

## 【請求項7】

前記検出対象物質が、液体及びソフトマテリアルであることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。

## 【請求項8】

容器に粘性を検出する対象の検出対象物質を充填し、該検出対象物質内に導電性の回転子を配置する過程と、

該容器の周りに配置された前記回転子に対して磁場を印加する過程と、

該磁場を時間的に変動させ、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる回転制御過程と、

40

前記回転子の回転数を検出する回転検出過程と、

前記回転数により、前記回転子に接する検出対象物質の粘性・弾性を検出する粘性検出過程と

を有し、

前記回転子の回転軸に垂直な方向における半径が以下の式により決定される

ことを特徴とする粘性・弾性測定方法。

【数2】

$$R < \frac{3}{2} \frac{\omega \eta \beta}{\alpha \Delta \rho \mu g}$$

$R$  : 回転子の半径       $g$  : 重力加速度

$\omega$  : 角速度       $\alpha, \beta$  : 係数

$\eta$  : 粘性係数

$\Delta \rho$  : 回転子と検出対象物質の密度差

$\mu$  : 回転子下部と容器底部の摩擦係数

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物質の力学物性である粘性・弾性を測定するための粘性・弾性測定装置及びその方法に関する。

【背景技術】

【0002】

20

従来より、対象とする物質の力学物性を検出するため、粘性や弾性の測定が行われている（例えば、引用文献1参照）。

粘性・弾性測定は、医薬品、食品、塗料、インク、化粧品、化学製品、紙、粘着剤、繊維、プラスチック、ビール、洗剤、コンクリート混和剤、シリコン等の製造過程で、品質管理、性能評価、原料管理、研究開発に必要不可欠な測定技術である。

従来知られている粘性測定法には以下に示すような方法がある。

【0003】

(1) 粘度管法、(2) 振動子を接触させる方法、(3) 表面弾性波を用いる方法、(4) 回転子を用いる方法、(5) 剛体球を落下させる方法、(6) 動的光散乱法、(7) Zimm型粘度測定法である。

30

【特許文献1】特開2005-69872号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上述した方法の内、(1)～(5)の方法に関しては、数cc以上の多量の試料が必要となるという欠点があった。

また、(2)～(5)の方法に関しては、少なくとも10cP以上の粘性でないと精度のよい計測が出来ないため、低粘度の材料の粘度を測定できないという欠点があった。

さらに(6)の方法について測定装置が大掛かりになるという欠点、また透明試料以外には適用できないという困難がある。

40

【0005】

また、(7)の方法に関しては表面に浮力によって浮いた探触子を回転させるため、表面のさざなみを起こすためのエネルギー損失が無視できなくなるという欠点、また試料表面に分子吸着膜が形成される場合には、その膜の有する表面粘弹性によって測定誤差が生じるという欠点、さらには回転が物体の没している長さに依存するため試料物質の密度が既知である必要があるという制約があった。

また、すべての方法において、試料容器が高価であり、使い回す必要があるため、測定後の試料容器の洗浄が必要であり、完全に除去されないと直前の物質の影響が残り、高精度の測定が行えないという制約があった。

【0006】

50

すなわち、これまで一般的に用いられている粘弾性の測定方法では、一定精度を得るためにはある程度以上の量の試料が必要であるという欠点があった。

また、粘性が 100 cP より小さい物質に対しては測定精度が悪くなるという欠点があり、回転型の粘度計や光散乱による計測では装置が大掛かりになり、簡便な計測が出来ないという制約があった。

以上の理由により、従来の原理に基づく手法では、粘性・弾性といった液体や他のソフトマテリアルについて普遍的な物理量に関して、少量の試料で簡便に測定する、あるいは低粘度の試料について高精度で測定するということが困難であり、測定容器の洗浄といった制約もあった。

【0007】

10

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、検出対象の物質の量が従来例に比較して少なくて済み、小型で簡易な測定装置であり、検出対象の物質を入れる容器を安価なものとして使い捨てを可能とした粘性・弾性測定装置及びその方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の粘性・弾性測定装置は、導電性の回転子と、粘性を検出する対象の検出対象物質が入れられ、該検出対象物質内に前記回転子が配置された容器と、該容器の周りに配置され、前記回転子に対して磁場を印加する磁石と、該磁石を駆動して前記回転子に回転磁界を与える（時間的に磁場を変動させて）、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる回転制御部と、前記回転子の回転数を検出する回転検出部と、前記回転数により、前記回転子に接する検出対象物質の粘性・弾性を検出する粘性検出部とを有することを特徴とする。

20

【0009】

本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子にマークが付加されており、前記回転検出部が前記マークの回転を検出することにより、回転子の回転数を検出することを特徴とする。

【0010】

本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子の回転軸に垂直な方向における半径が以下の式により決定されることを特徴とする。

30

【0011】

【数1】

$$R < \frac{3}{2} \frac{\omega \eta \beta}{\alpha \Delta \rho \mu g}$$

R : 回転子の半径      g : 重力加速度

$\omega$  : 角速度       $\alpha, \beta$  : 係数

$\eta$  : 粘性係数

40

$\Delta \rho$  : 回転子と検出対象物質の密度差

$\mu$  : 回転子下部と容器底部の摩擦係数

本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子が球であることを特徴とする。

【0012】

本発明の粘性・弾性測定装置は、粘性が分かっている複数の物質の回転トルクと、回転数との関係を予め測定した標準データを記憶する記憶部を更に有し、前記粘性検出部が測定した検出対象物質の回転トルクと回転数との関係と、前記標準データとを比較すること

50

により、前記検出対象物質の粘性・弾性を検出することを特徴とする。

【0013】

本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子が、前記検出対象物質内に、一部分あるいは全部分が没していることを特徴とする。

【0014】

本発明の粘性・弾性測定装置は、前記容器が、前記回転子と接する底部が滑らかな平面、あるいは滑らかな凹面状の曲面であり、前記回転子の底部が滑らかな凸面状の曲面であることを特徴とする。

【0015】

本発明の粘性・弾性測定装置は、前記検出対象物質が、液体及びソフトマテリアルであることを特徴とする。 10

【0016】

本発明の粘性・弾性測定方法は、容器に粘性を検出する対象の検出対象物質を充填し、該検出対象物質内に導電性の回転子を配置する過程と、該容器の周りに配置された前記回転子に対して磁場を印加する過程と、該磁場を時間的に変動させ、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる回転制御過程と、前記回転子の回転数を検出する回転検出過程と、前記回転数により、前記回転子に接する検出対象物質の粘性・弾性を検出する粘性検出過程とを有することを特徴とする。

【発明の効果】 20

【0017】

以上説明したように、本発明によれば、検出対象物と接して回転する回転子に印加する回転トルクと、回転数との関係から粘性及び弾性を測定するため、少量の検出対象物の試料で、低粘度から高粘度にいたる広い領域にわたる粘性を、回転子に回転磁界を与えることにより回転させ、この回転子の回転数を測定し、回転トルクと回転数との関係から粘性を検出するため、従来に比較して簡便な装置により測定することが出来、かつ検出対象物を入れる容器に通常の試験管などを利用することができ、使い捨てとして、洗浄する手間が省け、かつ直前の物質の影響が完全に無くなり、高精度な測定が行える。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の一実施形態による粘性・弾性測定装置を図面を参照して説明する。図1は同実施形態による粘性・弾性測定装置の構成例を示すブロック図である。 30

この図において、容器101は、力学的物性としての粘性（すなわち、粘性係数）を測定する対象の検出対象物を入れる、例えば小型の試験管などである。その内径は導体球の直径よりわずかに大きければよく、また試料の深さは金属球が没する程度でよい。このため、例えば1mmの導体球を用いる場合、必要な試料の量は100μリットルあれば十分であり、きわめて微量の試料で計測が可能になる。ここで、回転子106は、検出対象物質である試料内に、一部分あるいは全部分が没していてもよい。

【0019】

回転子106は、導体（例えば、アルミニウムなどの金属）にて構成されており、球状、あるいは半球状（すなわち球の一部分を有する形状を上記容器101の内部の底部と接する部分が有する形状）、あるいは容器101に接する下部が滑らかな凸状の曲面を有する形状をし、上記容器101内において、検出対象物内に接するように、すなわち、一部または前部がこの検出対象物に没するように配置されている。また、回転子106の下部が接する容器101の内部における底部も滑らかな平面でもよいし、凹状の滑らかな曲面を有していてもよい。

また、回転子106としては市販の金属球を用いることが出来るため、容器101の市販の試験管とあわせて使用することによりディスポーザブルな試料容器として用いることが出来る。このため、生体材料などその廃棄に特段の注意を要する物質を測定対象とする場合でも、焼却・滅菌などの後処理が容易に行えるという利点がある。 40 50

## 【0020】

電磁石102及び電磁石103の組Aは、上記容器101を間に配置して、直列に置かれている。

電磁石104及び電磁石105の組Bは、上記容器101を間に配置して、直列に置かれている。

ここで、組Aの配置方向がx軸に沿っているとした場合、組Bの配置方向はy軸に沿っている。

また、上記容器101は、容器の長尺方向が上記x-y平面に対して垂直方向(z軸)に設けられている。

## 【0021】

10

回転制御部107は、組Aの電磁石102及び電磁石103を駆動している際、組Bの電磁石104及び電磁石105を駆動せず、逆に組Bの電磁石104及び電磁石105を駆動している際、組Aの電磁石102及び電磁石103を駆動しないよう、交互に組A、組Bの電磁石を駆動して、x軸方向、y軸方向の磁場を時間的に交互に生成して変動させ、すなわち、回転子106に対して回転磁界を与え、回転子106内に誘導電流を誘起し、この誘導電流と、回転子106に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、回転子106に対して回転トルクを与えて回転させる。

この交互に駆動させる時間周期は、粘性検出部108が回転制御部107に対して指示する。

## 【0022】

20

また、上述した構成においては、電磁石を用い、電磁石のコイルに対して順次電流を流して駆動することにより、回転子106に対して回転磁界を与えているが、一組の永久磁石を容器101を介して直列に配置し、この永久磁石をモータなどにより容器101の周りを回転させて、回転子106に対して、回転磁界を印加することにより、回転子106に回転トルクを与えるように構成してもよい。この際、永久磁石の組の回転数は、粘性検出部108の指示に対応して回転制御部107が制御する。

## 【0023】

画像処理部109は、例えば、顕微鏡を有する撮像素子(CCD)から構成されており、回転子106に付加されているマークの回転を検出することにより、回転子106の回転数を測定する。ここで、画像処理部109は、上記容器101の開口部上部に配置され、撮像方向が回転子106の上部面に付加されたマークを検出できる位置となるように、容器101の上方に配置されている。

30

## 【0024】

標準データ記憶部110には、粘度が判明している標準試料を容器101に入れ、回転子106を回転させて、回転子106に印加した回転トルクと、回転子106の回転数との関係を示す標準データが、粘度の異なる複数の標準試料毎に対応して記憶されている。すなわち、この標準データは、回転数を変化させ、そのときの回転トルクを算出し、後述される(8)式により近似される一次曲線の傾きを求めたものが、それぞれ複数の異なる粘度の標準試料により測定されて設定されている。

## 【0025】

40

粘性検出部108は、画像処理部109の出力する回転子106の回転数と、その回転数に対応する回転トルクとのデータを取得し、後述する(8)式で示される一次曲線の傾きを、検出対象物質に対して求め、標準データ記憶部110から読み出した標準データの傾きとの比を求め、すなわち検出対象物質の一次曲線の傾きにより標準データの一次曲線の傾きを除算し、この傾きの比を標準データの粘度に乗算することにより、検出対象物質の粘度を算出する。

このとき、粘性検出部108は、標準データ記憶部110に記憶されている複数の異なる標準試料の傾きを、それぞれ検出対象物質の一次曲線の傾きにより、各標準データの一次曲線の傾きを除算し、それぞれの傾きの比を対応する標準データの粘度に乗算し、得られた粘度を平均して、検出対象物質の粘度としても良い。

50

## 【0026】

以下に、回転子 106 に与える回転トルクと、回転子 106 の回転数とにより、粘度を測定する理論について説明する。

例えば、容器 101 周辺には、組 A の電磁石 102 及び 103 により、x 軸に平行な磁場が  $t$  を時間として  $B = (B_0 \cos \omega t, 0, 0)$  、組 B の電磁石 104 及び 105 により y 軸に平行な磁場が  $B = (0, B_0 \sin \omega t, 0)$  のように生じている。導体である回転子 106 内部には、時間的に変化する磁場（回転磁場）により、

$$\text{rot } E = -(\text{d } B / \text{d } t)$$

を満たす電界が生じる。

この電界は、以下の(1)式のように計算される。

10

## 【0027】

## 【数2】

$$E = \frac{\omega B_0}{2} (-z \cos \omega t, -z \sin \omega t, x \cos \omega t + y \sin \omega t) \quad \cdots (1)$$

## 【0028】

これにより、回転子 106 内部には、導体の電気伝導度を として、

20

$$I = E$$

の電流が流れる。この電流  $I$  と磁場  $B$  とのローレンツ相互作用により、回転子 106 には、以下の(2)式にて示される力  $F$ （ローレンツ力）が働く。

## 【0029】

## 【数3】

$$F = \frac{\omega B_0^2 \sigma}{2} (- (x \cos \omega t + y \sin \omega t) \sin \omega t, (x \cos \omega t + y \sin \omega t) \cos \omega t, 0) \quad \cdots (2)$$

30

## 【0030】

上記力  $F$  における回転子 106 の回転面に対して鉛直な中心軸の周りの動径方向の成分は、時間変化の一周期にわたって積分することにより、以下の(3)式により計算できる。

## 【0031】

## 【数4】

$$F_\theta = \frac{\pi \omega \sigma B_0^2}{2} r, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \cdots (3)$$

40

## 【0032】

上記(3)式により表される力  $F_\theta$  は、回転子 106 を球の鉛直な中心軸の周りに回転させる力となる。そのトルク  $T$  は、以下の(4)式により表される。

## 【0033】

## 【数5】

$$T = \int_{\text{球内部}} dV F_\theta r, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \dots (4)$$

## 【0034】

上記トルク  $T$  により回転子 106 は回転する。しかしながら、その回転速度を決定する要因には次の二つがある。

一つは回転子 106 と容器 101 の底部との間の摩擦であり、もう一つは回転子 106 が接する検出対象物質の粘性抵抗である。

回転子 106 の回転から、この回転子 106 に接する検出対象物質の粘性を精度よく求めるためには、容器 101 の底部における摩擦力による抵抗が、検出対象物質の粘性抵抗よりも高々同程度（すなわち同様の数値）か、あるいは小さい必要がある。

## 【0035】

ここで、簡単のため、回転子 106 の回転面に対して垂直な半径を  $R$  とし、回転子 106 の下部が容器 101 の底部に接触している、回転子 106 の下部面積における有効接触面の半径を  $R$  ( $a < 1$ ) とする。

この有効接触半径内においては、回転子 106 にかかる重力による応力は一定であるとする。

また、回転子 106 の下部と、容器 101 の底部との間の摩擦計数を  $\mu$ 、回転子 106 と検出対象物質との密度差を  $\Delta\rho$ 、重力加速度を  $g$  とすると、摩擦に打ち勝って球を回転させるために必要なトルク  $T_f$  は、以下の(5)式により計算できる。

## 【0036】

## 【数6】

$$T_f = \frac{8\pi}{9} \alpha \mu \Delta \rho g R^4 \quad \dots (5)$$

## 【0037】

また、検出対象物質により満たされた無限の空間内において、回転子 106 が角速度で回転するのに要するトルク  $T_r$  は粘性係数を  $\eta$  として、以下の(6)式にて示される程度である。

## 【0038】

## 【数7】

$$T_r = \frac{4}{3} \pi R^3 \omega \eta \quad \dots (6)$$

## 【0039】

回転子 106 の下部が容器 101 の平面ないし曲面の底部と接している場合、さらに要するトルク  $T_f$  は大きくなる。この係数を  $\alpha$  とすると  $\alpha$  は 1 のオーダーであり、1 より大きい。この  $\alpha$  には、回転子 106 の回転により、検出対象物質が回転する際の、回転子 106 と、容器 101 の側壁との間接的な相互作用の係数も含まれている。(6)式までは  $\alpha = 1$  としている。

以上より、摩擦力より粘性抵抗が強く働くための条件は  $T_r > T_f$  であることがわかる。トルク  $T_f$  は  $R$  の 4 乗に比例し、トルク  $T_r$  は  $R$  の 3 乗に比例するため、十分に小さい  $R$  を選べばこの条件を満たすことが出来る。

すなわち、粘性係数（粘度）の液体の粘性を測定するための条件は、以下の（7）式により決定される。

【0040】

【数8】

$$R < \frac{3}{2} \frac{\omega \eta \beta}{\alpha \Delta \rho \mu g} \quad \cdots (7)$$

10

【0041】

例えば、対象物質を水を想定して  $\eta = 10^{-3}$  Pas として、回転子 106 としてアルミニウム球を想定し、 $\rho \sim 2000 \text{ kg/m}^3$  とし、また  $\Delta \rho \sim 1/100$  の程度であるとし、 $\beta \sim 1$  の程度とし、 $\mu \sim 0.1$  の程度であるとすると、毎秒一回転程度の角速度  $\omega \sim 10 \text{ rad/s}$  では  $R < 1 \text{ mm}$  が条件となる。

アルミニウム球にかかるトルク  $T_r$  は、磁場の回転速度（組 A と組 B とを順次駆動して、磁場を  $x$  軸方向または  $y$  軸方向として変化させる速度）と、実際にアルミニウム球の回転する回転速度の差に比例する。

20

【0042】

このため磁場の回転速度をあらかじめ決定し、球の回転速度を計測すれば球にかかる回転トルク  $T$  を推定することができる。

この回転トルク  $T$  の計算には、（4）式を用いてもよいし、あるいは粘度が既知の標準試料を用いて得られる校正曲線（標準データ記憶部 110 に記憶されている標準データの傾き）を用いてもよい。

このようにして得られたトルク  $T_r$  は、以下に示す（8）式にて表される。

【0043】

【数9】

30

$$T = \frac{4}{3} \pi \beta R^3 \omega \eta + \frac{8\pi}{9} \alpha \mu \Delta \rho g R^4 \quad \cdots (8)$$

【0044】

これより印加されたトルク  $T$  と回転数  $\omega$  の関係は、切片を通る一次曲線となり、その切片（（8）式の第2項）から摩擦によるトルクが、また傾きから粘性（（8）式の第1項）が求められる。標準データ記憶部 110 には、粘性が既知であり、この粘性・弾性検出装置にて測定した回転トルクに比例する量と、回転子 106 の回転数との関係の（8）により表される一次曲線の傾き、すなわち回転数に対する回転トルクの変化の割合が、各粘度の異なる複数の標準試料毎に記憶されている。

40

【0045】

回転子 106 の回転運動の観察には、図 1 における顕微鏡のついた撮像素子 111 を用い、回転子 106 に付加されたマークの回転運動を検出して、回転子 106 の回転数を測定する。

この回転数の測定方法は、また、回転子 106 に対し、レーザーを照射して回転による反射・干渉パターンの変化を光学的に計測する方法、あるいは回転子 106 の一部を誘電体で置き換える、電極間にこの回転子が挟まれる構成として、コンデンサを構成して、回転

50

子 106 の回転に伴う、このコンデンサの誘電率の周期的变化から、回転子 106 の回転数を計測する方法、などに替えてよい。

#### 【 0046 】

また、撮像素子 111 による観察は、容器 101 を透明な素材とし、底部から倒立型顕微鏡により行う方法に替えてよい。この場合、観察は容器 101 の底部と、回転子 106 の下部との間のごく薄い検出対象物質の層を通して行えるため、仮に検出対象物質が光をほとんど透過しないインク材料のような物質であっても、測定することができる。このとき、回転数を検出するためのマークは回転子 106 の下部に付加することになる。

また、上述した回転制御部 107 は、回転子 106 に対し、印加する磁場の周期および向きは任意に変化させてもよい。

例えば、磁場の向きと回転速度を周期的に掃引することにより、回転子 106 に対して、周期的な回転トルクを印加することができる。

#### 【 0047 】

また、粘性に加えてゲルやゴムなどのように弾性率を有する物質、あるいは粘性の緩和により弾性率が生じる高分子溶液のような物質に対し、一定トルクを与えたときの静止位置から、粘性率に加えて弾性率をも同時に決定することができる。

ここで、弾性率はいわばバネ定数であり、回転変形に比例した復元力を及ぼす。したがって粘性に加えて弾性率がある場合、弾性率による復元力は、歪に比例して大きくなるため、回転子 106 はある程度回転したところで弾性力と磁場によるトルクが釣り合って静止する。

#### 【 0048 】

すなわち、電磁石 102 ~ 105 が生成する回転磁場の大きさと、回転速度を変化させて回転子 106 に印加する回転トルクの大きさとを変化させ、回転子 106 の平衡静止位置を計測することにより、回転トルクを印加しない初期状態からこの静止位置までの回転角度が検出され、この回転角度は印加された回転トルクに比例し、その比例係数は弾性率に逆比例する。これより弾性率を求めることができる。粘度と同様に、弾性率の分かっている標準試料の回転トルクと回転角度との関係から、得られた標準試料の比例係数との比から、検出対象物質の弾性率を求めることができる。

#### 【 0049 】

また、回転子 106 に加える回転トルクを時間的に変化させることにより、弾性率と粘性率とを同時に決定することも可能である。

例えば、回転子 106 に一定の回転トルクを印加後、瞬時に印加磁場を消去し、その後の回転子 106 の運動を観察すると、回転子 106 は弾性率により振動し、かつ粘性率によってその振動の振幅は減衰してゆく。標準試料の振動の振幅、周期及び持続時間と比較して、検出対象物質の弾性率を求めることができる。

すなわち、検出対象物の振動の振幅、周期及び持続時間から、弾性率と粘性率とを決定することも可能である。

#### 【 0050 】

また、磁場の向きと回転速度とを周期的に掃引することにより、回転子 106 には周期的な回転トルクを印加することができる。

この周期を変化させながら、回転子 106 の回転振動の振幅と位相とを観察することによっても、粘性率と弾性率とを独自に決定することができる。

この観察は、上記の磁場を消去した後の減衰振動を、周波数スペクトルとして捉えるものであり、両者は原理的には同じ測定である。

#### 【 0051 】

< 應用例 >

以下、本実施形態による、具体的応用例についてさらに詳しく説明する。ただし、本発明は、以下に示す応用例に何ら限定されるものではない。

図 1 に示す粘性・弾性測定装置（力学物性測定装置）を用いて以下の粘性検出の処理を行った。

10

20

30

40

50

すなわち、容器 101 として内径 7 mm、高さ 30 mm のガラス製試験管を用い、このガラス製試験管に測定対象試料（検出対象物質）として 20 の純水を 0.4 cc 插入した。

この純水の粘性は 1.0 cP であり、この純粋に回転子 106 として直径 2 mm のアルミニウム球を沈めた。

#### 【0052】

ついで、2 個の永久磁石を試料容器の周りで回転させることにより、回転する磁場を生じさせた。

この回転磁場により生じる回転トルクを受け、上記アルミニウム球が回転する様子を撮像素子 110 にて捉え、この画像をビデオに録画し、その後にコンピュータによる画像処理（画像処理部 109）により、アルミニウム球の回転数を求めた。すなわち、回転磁場の回転速度を変化させながら、そのときのアルミニウム球の回転速度を計測した。

#### 【0053】

図 2 はこのときの回転磁場の回転速度と回転子 106 の回転速度の差（回転トルクに比例するパラメータ）と、アルミニウム球の回転数との関係を表すグラフである。

磁場及び回転物体のそれぞれの回転速度の差は、上述したように、アルミニウム球に生じる回転トルクに比例する。

したがって、このグラフの縦軸はトルクに比例する量を表している。この関係は（8）式で表される一次関数の形をしており、第 1 項における傾きから粘性が、また第 2 項の示す切片（縦軸に対する）から摩擦力が求められることがわかる。

#### 【0054】

さらに、図 1 に示す力学物性測定装置を用いて以下の操作を行った。すなわち、試料容器として内径 7 mm、高さ 30 mm のガラス製試験管を用い、これに測定対象試料として重量比 30 % のショ糖の水溶液を 0.4 cc 插入した。この水溶液の粘性は 3.2 cP である。

これに回転子 106 として、直径 2 mm のアルミニウム球を、上記水溶液に沈め、ついで 2 個の永久磁石を容器 101 の周りで回転させることにより、回転する回転磁場を生じさせた。

この回転磁場により生じる回転トルクを受け、アルミニウム球が回転する様子を撮像素子 111 にて捉え、この画像をビデオに録画し、その後にコンピュータによる画像処理（画像処理部 109）により、回転数を求めた。すなわち、回転磁場の回転速度を変化させながら、そのときのアルミニウム球の回転速度を計測した。

#### 【0055】

図 3 はこのときの回転磁場の回転速度及び回転子 106 の回転速度の差と、回転物体の回転数との関係を表すグラフである。

図 2 の純水に比べ、ショ糖水溶液の粘性が大きいため、グラフの傾きが大きくなっていることがわかる。

この切片における回転磁場の回転数は、約 0.4 回転 / 秒であり、粘性を 3 cP、回転物体の直径を 2 mm としたときの摩擦力に相当する回転数を与える（7）式から導かれる値である 1 回転 / 秒とオーダーがほぼ一致していることから、本発明の原理が有効であることがわかる。

#### 【0056】

また、図 2 と図 3 の傾きの比は、3.26 であり、実際の粘度の比 3.2 と極めてよく一致していることから、1 cP 程度の粘性が精度よく測定できることがわかる。

また、この結果から、検出対象物質と標準試料との回転トルクと回転数との傾きの比を求めることにより、この比を標準試料の粘度に乘することにより、検出対象物質の粘度を推定することが可能であることが分かる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0057】

【図 1】本発明の実施形態による粘性・弾性検出装置の構成例を示すブロックである。

10

20

30

40

50

【図2】検出対象物質が水の場合における回転磁場の回転速度及び回転子106の回転速度の差と、回転物体の回転数との関係を表すグラフである。

【図3】検出対象物質がショ糖の場合における回転磁場の回転速度及び回転子106の回転速度の差と、回転物体の回転数との関係を表すグラフである。

【符号の説明】

【0058】

101...容器

102、103、104、105...電磁石

106...回転子

107...回転制御部

10

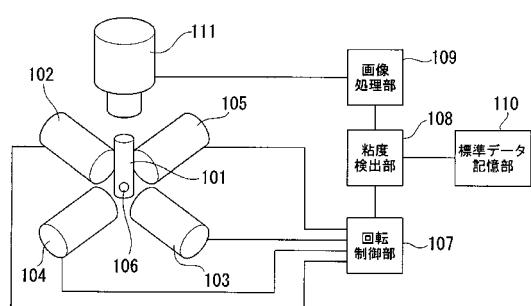
108...粘性検出部

109...画像処理部

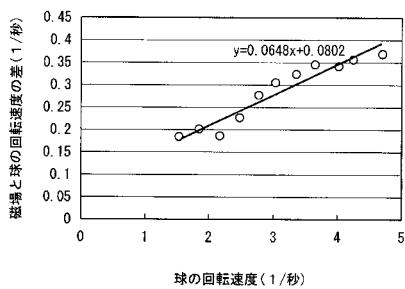
110...標準データ記憶部

111...撮像素子

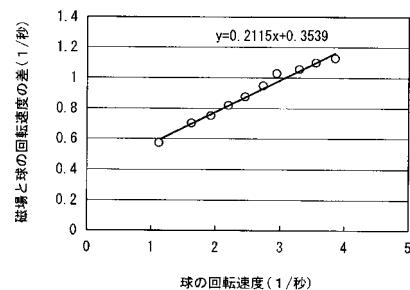
【図1】



【図2】



【図3】



---

フロントページの続き

(72)発明者 酒井 啓司

東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内

審査官 高 見 重雄

(56)参考文献 特公平04-065333 (JP, B2)

特開昭63-012936 (JP, A)

特開平01-263533 (JP, A)

Mikulas Bano, Igor Strharsky, Igor Hrmo, A viscosity and density meter with a magnetically suspended rotor, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, 2003年11月, Vol. 74, No. 1, PP.4788-4793

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 11/00 - 11/16